

ANALISIS PRODUKSI OZON DALAM REAKTOR DIELECTRIC BARRIER DISCHARGE PLASMA (DBDP): PENGARUH IMPEDANSI ELEKTRODA SPIRAL

Maryam Restiwijaya¹, Muhammad Nur^{*2} dan Tri A. Winarni³

¹Program Studi Magister Ilmu Fisika, Universitas Diponegoro Semarang

²Jurusan Fisika, Universitas Diponegoro Semarang

³Jurusan Teknologi Hasil Perikanan, Universitas Diponegoro Semarang

*Korespondensi Penulis, Email: m.nur@undip.ac.id

Abstract

Analysis of spiral-cylinder DBDP reactor on atmospheric pressure was done to explain spiral electrode impedance influence on ozone production. Variation of coil number (N): 10, 20, 30, 40, and 50 coil spiral applied to the spiral electrodes. Spiral electrode made of a copper wire with 0.4 mm in diameter and the inner and outer coils of each was 20 mm and 20.4 mm. Pyrex Tubing in diameter 3 cm and a thickness of 1 mm serves as a dielectric barrier cover spiral electrode. Cylindrical electrodes made from a copper plate with a length of 13.70 cm and thickness of 0.47 mm. a High voltage of AC has been used with a voltage up to 10 kV with frequency of 16 kHz. Free air supplied into the reactor with air flow rate of 6 L/minute. The results showed that at a constant N , ozone concentration decreased with the increasing value of the impedance (Z). Reactor DBDP most effective in terms of electricity consumption is on the $D_L = 20$ mm, $D_K = 0.4$ mm, and the number of coil $N = 10$ coils of wire with a power that is as high as 177.60 Watt and $Z = 3,60 \times 10^5 \Omega$.

Keywords : Number of coil, Spiral-cylinder electrodes, Ozone concentrations

Abstrak

Analisis reaktor DBDP spiral-silinder pada tekanan atmosfer dilakukan untuk menjelaskan pengaruh impedansi elektroda spiral pada produksi ozon. Variasi jumlah lilitan (N): 10, 20, 30, 40, dan 50 lilitan diterapkan pada elektroda spiral. Elektroda spiral terbuat dari kawat tembaga yang berdiameter 0,4 mm dengan diameter lilitan dalam dan luar masing-masing adalah 20 mm dan 20,4 mm. Tabung pyrex dengan diameter 3 cm dan ketebalan 1 mm berfungsi sebagai penghalang dielektrik yang menutupi elektroda spiral. Elektroda silinder terbuat dari lempengan tembaga dengan panjang 13,70 cm dan ketebalan 0,47 mm. Tegangan tinggi AC telah digunakan dengan tegangan sampai 10 kV dan frekuensi 16 kHz. Udara bebas diberikan ke dalam reaktor dengan laju aliran udara 6 L/menit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada N yang konstan, konsentrasi ozon menurun dengan meningkatnya nilai impedansi (Z). Reaktor DBDP yang paling efektif dari segi pemakaian listrik adalah pada $D_L = 20$ mm, $D_K = 0,4$ mm, dan jumlah lilitan kawat $N = 10$ lilitan dengan daya yaitu setinggi 177,60 Watt dan $Z = 3,60 \times 10^5 \Omega$.

Kata kunci : DBDP, Elektroda spiral-silinder, Konsentrasi ozon

Pendahuluan

Reaktor ozon dengan teknik DBDP (*dielectric barrier discharge plasma*) merupakan metode yang sederhana dan kuat dalam memproduksi ozon [1]. DBDP biasanya dihasilkan

oleh dua elektroda yang salah satunya ditutupi dengan penghalang dielektrik dan tegangan AC diterapkan pada kedua elektroda ini [2]. Lapisan penghalang dielektrik membatasi *transport* muatan lucutan dan mendistribusikan lucutan

hampir seragam diseluruh daerah elektroda [3]. Namun, sistem ini biasanya merugikan dari segi pemakaian listrik yang tinggi dan efisiensi yang relatif rendah (sekitar 1-15%) untuk mengkonversi oksigen menjadi ozon [2]. Faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi produksi ozon antara lain: lebar celah, pemakaian tegangan, bahan dan konfigurasi elektroda, serta parameter lucutan [4]. Hal ini diperlukan dengan mengoptimalkan setiap faktor untuk meningkatkan efisiensi.

Sebuah gambaran DBDP yang telah dilakukan misalnya oleh T.-L. Sung atau Jochen [5,6]. Meskipun banyak publikasi terbaru tentang topik ini, namun masih ada beberapa pertanyaan yang sangat mendasar mengenai kinerja, efektivitas, dan efisiensi reaktor DBDP ini. Pertanyaan-pertanyaan ini sekarang harus dijawab secara lebih sistematis dan penelitian ini meneliti terutama besaran listrik sebagai ukuran kinerja reaktor DBDP.

Pada penelitian ini lebih menekankan pada pengaruh impedansi elektroda spiral reaktor DBDP terhadap konsentrasi ozon. Pentingnya perpadanan sistem impedansi untuk efisiensi kerja optimal diperkenalkan oleh Chen dan ditekankan oleh Singh & Roy [6]. Sampai saat ini, setidaknya dalam hal optimasi dan kuantifikasi, sedikit perhatian telah diarahkan pada besaran listrik dari reaktor DBDP, seperti operasi tegangan V , frekuensi f , daya listrik yang dikonsumsi P_A dan sesuai kapasitansi C yang sesuai dari reaktor DBDP. Namun efisiensi listrik mungkin dengan sendirinya menjadi parameter penting.

Perhitungan impedansi berdasarkan hukum Ohm untuk rangkaian tertutup. Nilai impedansi diperoleh dengan rumus :

$$V=IZ \quad (1)$$

dimana Z adalah impedansi dengan satuan (Ω), V dan I merupakan

tegangan (Volt) dan kuat arus (Ampere). Cara menghitung nilai Z adalah dengan mengetahui nilai V dan I yang terukur.

Perhitungan induktansi diri dari kumparan dapat diperoleh dengan rumus:

$$L = \frac{\mu\mu_0 N^2 A_s}{l_s} \quad (2)$$

dengan μ adalah probabilitas inti (*core*), $\mu=1$ bila tanpa inti (*core*). μ_0 adalah probabilitas udara $4\pi \times 10^{-7}$, N adalah jumlah lilitan, A_s adalah luas penampang spiral (m^2) dan l_s adalah panjang induktansi spiral (m).

Perhitungan reaktansi induktif dapat diperoleh dengan rumus:

$$X_L = 2\pi fL \quad (3)$$

dimana X_L adalah reaktansi induktif Ω , f adalah frekuensi (Hz), L adalah induktansi diri (Henry), $\pi = 3,14$.

Cara menghitung pemakaian daya listrik dengan menggunakan rumus:

$P = I^2 Z$, dimana P adalah daya listrik (watt), I adalah arus (ampere) dan Z adalah impedansi (Ω).

Metode Penelitian

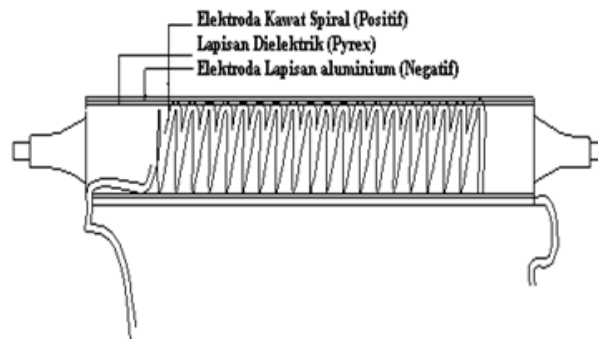
Reaktor yang digunakan dalam penelitian ini adalah DBDP dengan konfigurasi kawat spiral-silinder (gambar 1). Reaktor terdiri dari elektroda dalam (positif), tabung *pyrex* dan elektroda luar (negatif). Variasi jumlah lilitan (N): 10, 20, 30, 40 dan 50 lilitan diterapkan pada elektroda spiral. Elektroda spiral terbuat dari kawat tembaga yang berdiameter (D_K) 0,4 mm dengan diameter lilitan dalam (D_D) dan luar (D_L) masing-masing adalah 20 mm dan 20,4 cm. Elektroda spiral tersebut dimasukkan ke dalam suatu penghalang dielektrik yaitu tabung *pyrex* (Diameter (D_P) dan ketebalan (K_P) masing-masing adalah 3 cm dan 1 mm; panjang (L_P) 15 cm) dan pada bagian luar dari penghalang dielektrik akan diselubungi

dengan lempeng tembaga yang dengan ketebalan (K_T) dan panjang (L_T) masing-masing adalah 0,47 mm dan 13,70 cm).

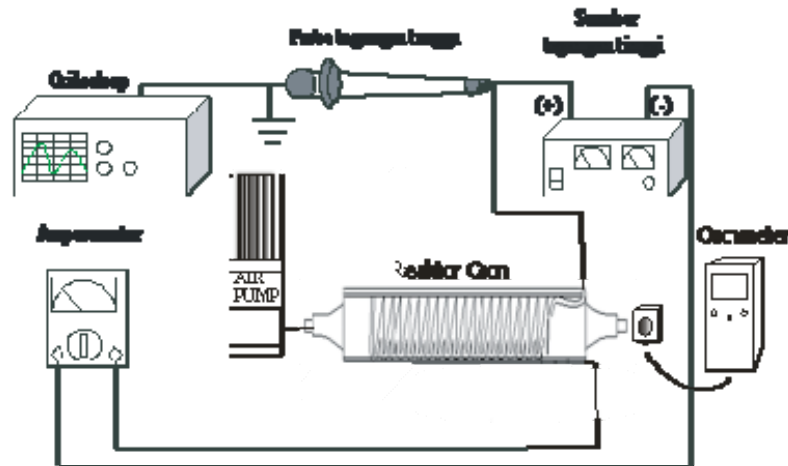
Tegangan tinggi AC diberikan dengan tegangan (V) sampai 10 kV dan frekuensi (f) 16 kHz. Polaritas positif dihubungkan dengan elektroda positif yaitu kawat tembaga spiral dan polaritas probe, sedangkan polaritas negatif dihubungkan dengan polaritas negatif multimeter (Sanwa CD800a). Pada polaritas positif multimeter dihubungkan dengan elektroda negatif yaitu lempeng tembaga dan ground probe. Sedangkan

polaritas negatif probe dihubungkan dengan osiloskop (Instek, GOS-620 20MHz).

Pada percobaan, udara bebas diberikan ke dalam reaktor dengan laju aliran udara 6 L/menit, dimana laju alirnya diukur menggunakan flowmeter (SHLLJ). Ozon yang dihasilkan diukur konsentrasinya dengan menggunakan ozonmeter (Model OS-4, serial# 1208). Sistem pembangkit DBDP dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 1 Reaktor DBDP spiral-silinder



Gambar 2 Sistem pembangkit DBDP berkonfigurasi spiral-silinder

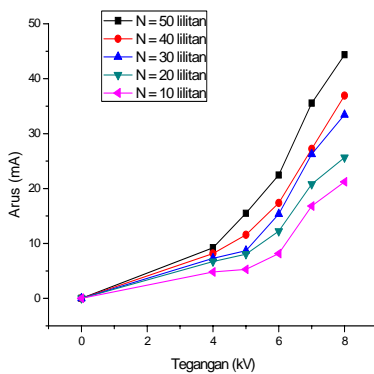
Hasil dan Pembahasan

1. Karakterisasi Arus (I) sebagai Fungsi Tegangan (V)

Pengukuran arus listrik adalah arus listrik rata-rata. Pengaruh tegangan

terhadap arus listrik rata-rata disajikan pada Gambar 3 yang menunjukkan karakteristik ($I-V$) dari sistem DBDP spiral-silinder, untuk variasi jumlah lilitan (N) dari elektroda spiral.

Arus meningkat ketika tegangan yang diberikan juga meningkat karena medan listrik yang menyebabkan terjadinya ionisasi, eksitasi, deeksitasi dan rekombinasi gas udara juga mengalami peningkatan. Ketika gas udara mulai terionisasi maka timbul elektron bebas yang bergerak pada daerah aliran ionisasi. Elektron bebas ini akan dipercepat oleh medan listrik dan menumbuk molekul gas lain yang terdapat diantara kedua elektroda, sehingga terjadi ionisasi berantai dan pelipatgandaan elektron [7]. Semakin besar tegangan yang diberikan arus yang dihasilkan semakin besar. Pada tegangan tetap, untuk variasi jumlah lilitan (N) yang semakin kecil, arus yang dihasilkan juga semakin kecil.



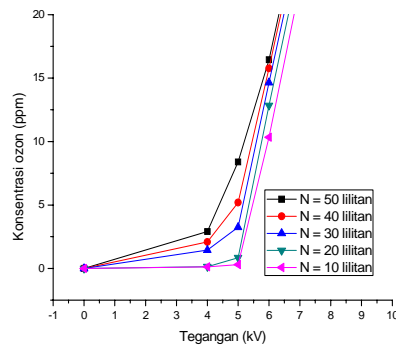
Gambar 3 Karakteristik arus sebagai fungsi tegangan (I - V) dari reaktor DBDP spiral-silinder N yang berbeda

2. Pengaruh Tegangan Terhadap Konsentrasi

Gambar 4 menunjukkan bahwa tegangan awal yang diberikan adalah 4 kV. Konsentrasi ozon meningkat seiring dengan meningkatnya tegangan yang diberikan. Bahkan pada tegangan tertentu konsentrasi lebih dari 20 ppm (terdeteksi lebih tinggi dari batas detektor ozon kami). Hal ini dikarenakan semakin tinggi tegangan yang diberikan pada DBDP maka semakin besar medan listrik yang dihasilkan diantara kedua elektroda yang

akan mengionisasi molekul gas yang melewati celah tersebut.

Perubahan jumlah lilitan (N) yang diberikan mempengaruhi nilai konsentrasi ozon, dimana pada tegangan (V) yang konstan, konsentrasi ozon semakin tinggi ketika jumlah lilitan semakin banyak. Hal ini berkaitan erat dengan distribusi medan listrik dan dekomposisi ozon. Ketika jumlah lilitan kawat pada elektroda aktif semakin banyak medan listrik antara kedua elektroda jauh lebih seragam dan hampir menyeluruh di daerah elektroda sehingga ionisasi juga jauh lebih intens dan seragam. Konsentrasi ozon yang dihasilkan juga semakin tinggi.



Gambar 4 Pengaruh tegangan (V) terhadap konsentrasi ozon (C) untuk variasi jumlah lilitan (N)

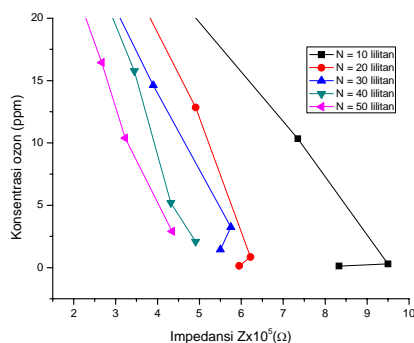
3. Pengaruh Impedansi Terhadap Konsentrasi Ozon

Pengaruh impedansi (Z) terhadap konsentrasi ozon (C) dengan variasi jumlah lilitan (N): 10, 20, 30, 40 dan 50 lilitan ditunjukkan pada Gambar 5. Nilai impedansi dipengaruhi oleh jumlah lilitan, dimana semakin banyak jumlah lilitan, nilai impedansi semakin rendah. Berdasarkan hukum ohm semakin kecil impedansi maka arus yang dihasilkan semakin besar, sehingga daya yang dihasilkan juga semakin besar (Gambar 6).

Gambar 5 menunjukkan bahwa impedansi maksimum (pada $V_{max} = 8$ kV) untuk jumlah lilitan kawat (N) =

10, 20, 30, 40 dan 50 lilitan masing-masing adalah $3,60 \times 10^5$; $3,12 \times 10^5$; $2,39 \times 10^5$; $2,17 \times 10^5$; $1,80 \times 10^5 \Omega$ dengan konsentrasi ozon yang dihasilkan juga semuanya diatas 20 ppm (terdeteksi lebih tinggi dari batas detektor ozon kami).

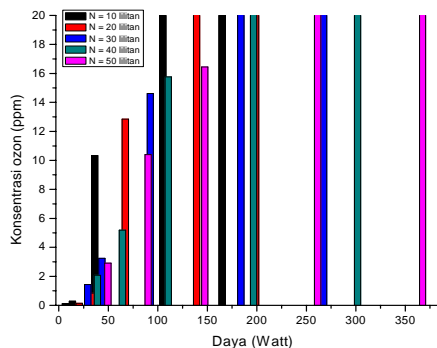
Pada N yang konstan, konsentrasi ozon menurun dengan meningkatnya nilai impedansi.



Gambar 5 Pengaruh impedansi (Z) terhadap konsentrasi ozon (C), untuk jumlah lilitan (N) yang berbeda

Pengaruh Daya Terhadap Konsentrasi Ozon

Pengaruh daya terhadap konsentrasi ozon pada sistem DBDP spiral-silinder diteliti guna mempertimbangkan efektivitas dari segi pemakaian listrik. Daya listrik (P) dipengaruhi oleh tegangan (V) dan arus (I). Diagram konsentrasi ozon sebagai fungsi daya dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6 Pengaruh daya terhadap konsentrasi ozon untuk jumlah lilitan (N) yang berbeda

Gambar 6 menunjukkan bahwa daya maksimum (pada $V_{max} = 8 \text{ kV}$) untuk jumlah lilitan kawat ($N = 10, 20, 30, 40$ dan 50 lilitan masing-masing adalah $177,60; 205,12; 267,36; 295,36; 354,8$ watt dengan konsentrasi ozon yang dihasilkan juga semuanya diatas 20 ppm (terdeteksi lebih tinggi dari batas detektor ozon kami). Konsentrasi ozon meningkat seiring dengan peningkatan daya listrik.

Ketika daya bernilai tinggi maka terjadi kerugian pada pemakaian listrik. Dari hasil yang diperoleh pada Gambar 6 maka nilai daya maksimum yang paling efektif pada reaktor DBDP spiral-silinder dengan konsentrasi yang dihasilkan lebih dari 20 ppm adalah pada $D_L = 20 \text{ mm}$, $D_K = 0,4 \text{ mm}$, dan jumlah lilitan kawat $N = 10$ lilitan yaitu setinggi $177,60 \text{ Watt}$ dan $Z = 3,60 \times 10^5 \Omega$.

Kesimpulan

Konsentrasi ozon pada DBDP spiral-silinder dianalisis dalam hal impedansi elektroda spiral dengan memvariasi jumlah lilitan (N). Pada N yang konstan, konsentrasi ozon menurun dengan meningkatnya nilai impedansi. Reaktor DBDP yang paling efektif dari segi pemakaian listrik adalah pada $D_L = 20$ mm, $D_K = 0,4$ mm, dan jumlah lilitan kawat $N = 10$ lilitan dengan daya yaitu setinggi 177,60 Watt dan $Z=3,60 \times 10^5 \Omega$.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada Penelitian Program Sinas/ Teknologi Pangan/ Riset Terapan (RT), Kementerian Riset dan Teknologi Indonesia yang telah mendukung karya ini.

Daftar Pustaka

- [1] Zhi Fang, Yuchang Qiu, Yanzhou Sun, Hui Wang, Kuffel Edmund, 2008, *Experimental Study on Discharge Characteristics and Ozone Generation of Dielectric Barrier Discharge in a Cylinder-Cylinder Reactor and a Wire-Cylinder Reactor*, Journal of Electrostatics 66, 421-426.
- [2] Seung-Lok Park, Jae-Duk Moon, Seug-Hoon Lee, Soo-Yeon Shin, 2006, *Effective ozone generation utilizing a meshed-barrier discharge type ozone generator*, Journal of Electrostatics 64, 275-282.
- [3] Xueji Xu, 2001, *Dielectric Barrier Discharge-Properties and Applications*, Thin Solid Film 390, 237.
- [4] T.-L. Sung, S. Teii, C.-M. Liu, R.-C. Hsiao, P.-C. Chen, Y.-H. Wu, C.-K. Yang, K. Teii, S. Ono, K. Ebihara, 2013, *Effect of Pulse Power Characteristics and Gas Flow Rate on Ozone Production in a Cylindrical Dielectric Barrier Discharge Ozonizer*, Vacuum 90, 65-69.
- [5] Koichi Takaki, Yuki Hatanaka, Kaname Arima, Saiji Mukaigawa, Tamiya Fujiwara, 2009, *Influence of Electrode Configuration on Ozone Synthesis and Microdischarge Property in Dielectric Barrier Discharge Reactor*, Vacuum 83, 128-132.
- [6] Jochen Kriegseis, Benjamin Möller, Sven Grundmann, Cameron Tropea, 2011, *Capacitance and Power Consumption Quantification of Dielectric Barrier Discharge (DBD) Plasma Actuators*, Journal of Electrostatics 69, 302-312.
- [7] Nur, M., 2011, *Fisika Plasma dan Aplikasinya*, Badan Penerbit Universitas Diponegoro, Semarang.